Cambres de pupació d'insectes coleòpters del Pliocè – Pleistocè inferior de Mallorca (Illes Balears, Mediterrània occidental). Significació paleoambiental i cronoestratigràfica

Guillem MAS i Joan RIPOLL

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Mas, G. i Ripoll, J. 2010. Cambres de pupació d'insectes coleòpters del Pliocè-Pleistocè inferior de Mallorca (Illes Balears, Mediterrània occidental). Significació paleoambiental i cronoestratigràfica. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears,* 53: 91-106. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

Es descriu la presència d'estructures fòssils que apareixen en grans quantitats als paleosòls de formacions dunars del Pliocè – Pleistocè inferior de Mallorca. Es discuteixen dues hipòtesis sobre possibles insectes productors. Es desvela així la incògnita existent sobre l'origen d'aquestes formes fòssils que havien estat atribuïdes anteriorment a organismes enigmàtics, pèl·lets fecals o copròlits de *Myotragus* sp.; i que no són altra cosa que traces d'insectes fòssils atribuïbles a cambres de pupació de coleòpters. La presència d'aquests icnofòssils té un clar significat paleoclimàtic del que es poden derivar datacions estratigràfiques.
Paraules clau: *traces fòssils, insectes, paleoambient, Pliocè, Pleistocè, Illes Balears, Mediterrània occidental.*

PUPATION CHAMBERS OF COLEOPTERANS IN THE PLIOCENE – LOWER PLEISTOCENE OF MALLORCA (BALEARIC ISLANDS, WESTERN MEDITERRANEAN). PALEOENVIRONMENTAL AND CHRONOSTRATIGRAPHIC SIGNIFICANCE. This paper describes the presence of insect traces that appear in large quantities at the Pliocene – lower Pleistocene dune formations in Mallorca. We discuss two hypotheses about possible producers. It also reveals the mystery about the origin of these fossil traces that had been previously attributed to enigmatic organisms, faecal pellets or coprolites of *Myotragus* sp., are really insect trace fossils, attributable to the beetles pupation cameras. The presence of these fossil traces has a clear palaeoclimatic meaning which can be derived stratigraphic dating.
Keywords: *fossil traces, insects, palaeoenvironment, Pliocene, Pleistocene, Balearic Islands, western Mediterranean.*

Guillem MAS, Museu Balear de Ciències Naturals, Apartat de Correus nº 55, 07100 Sóller (Mallorca - Illes Balears), e-mail: masgornals@gmail.com; Joan RIPOLL, Societat d'Història Natural de les Balears, C/ Margarita Xirgú, 16 baixos, 07011 Palma de Mallorca (Illes Balears), e-mail: patronatero@hotmail.com
.

Recepció del manuscrit: 17-nov-10; revisió acceptada: 30-des-10

Introducció

Dins dels estudis sobre el Pliocè de la zona de Llucmajor (Mallorca), Colom *et al*. (1968) i Cuerda *et al*. (1969) descriuen, en un paleosòl d'alteració situat sobre les formacions dunars pliocenes de les pedreres de Son Mulet, uns motlles el·lipsoïdals

enigmàtics, d'uns 10 mm de longitud, que consideren d'aspecte clarament orgànic i atribueixen amb reserves a pèl·lets fecals (Fig. 1). Aquestes estructures apareixen conjuntament amb motlles de gasteròpodes terrestres i restes d'arrels. Aquest paleosòl es situa sobre una duna de 15 m de potència que a base cobreix un nivell de platja amb *Strombus coronatus* Defrance, 1827.

Posteriorment, Cuerda i Sacarés (1992) es refereixen a aquests mateixos cossos el·lipsoïdals de les pedreres de Son Mulet (Llucmajor) assignant-los a copròlits del bòvid *Myotragus* sp. del Plistocè inferior, citant-los també al km 18 de l'antiga via fèrria abandonada de Palma–Llucmajor (zona Son Granada), en uns aflorament de llims molt fins d'aspecte loèssic, color rosat groguenc amb *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758). A Mallorca és també coneguda la presència d'acumulacions d'aquestes estructures als paleosòls associats a nivells amb *Rumina* sp. del Cap Salines (B. Morey, com. pers.); als paleosòls d'alteració amb *Rumina* sp. del banc d'Eivissa (Calvià); així com a les zones de Llucmajor i de cala Figuera (Calvià) (P. Bover, com. pers.).

A Menorca també han estat citats "restes ovoides" atribuïts a copròlits de *Myotragus* sp. als paleosòls llimosos de les formacions dunars de l'illa de l'Aire atribuïdes al Plistocè (Rossell *et al*., 1969; Mercadal *et al*., 1970; 1972) i a les formacions dunars del cap de Cavalleria (J. Quintana, com. pers.).

Més recentment ha estat defensada la possibilitat de que els suposats copròlits de *Myotragus* sp. no fossin tals, si no nius de terra d'insectes (J. Quintana, com. pers.).

Noves dades i troballes apunten a que

52 G. COLOM, J. SACARES Y J. CUERDA

Fig. 2

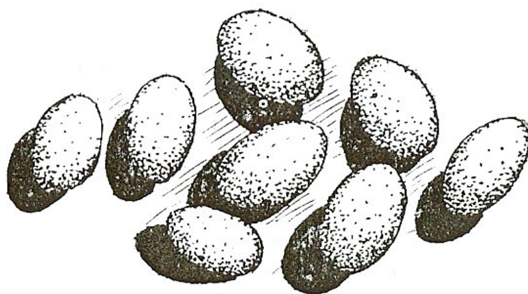


Fig. 2.—*Fecal pellets* (?) recogidos en suelo de alteración en la parte superior de las canteras de Son Mulet con restos de moluscos terrestres (tamaño natural).

Fig. 1. Reproducció de la Fig. 2 de Colom *et al*. (1968) mostrant els organismes el·lipsoïdals enigmàtics o *fecal pellets* del jaciment de Son Mulet (Llucmajor). Realment motlles interns de rebliment de traces fòssils d'insectes.

Fig. 1*. Reproduction of the Fig.2 by Colom* et al. *(1968) showing the ellipsoidal enigmatic organisms or faecal pellets of Son Mulet (Llucmajor) site. Really internal filling of insect fossil traces.*

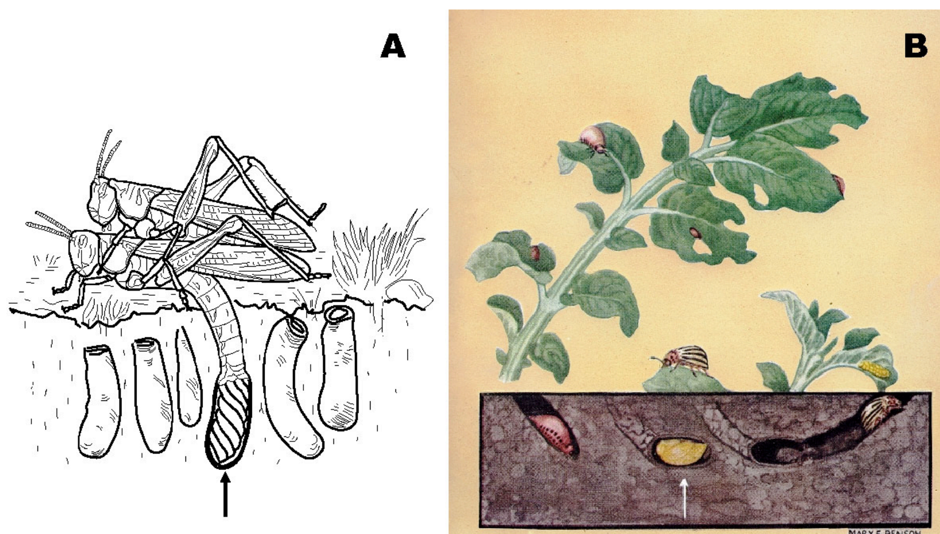


Fig. 2. A) Producció d'ooteques de l'actual *Dociostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) realitzant la posta (oviposició) al terra en sòls sense remoure (dibuix a partir de Jannone, 1934 *in* Meco *et al.,* 2008b); B) Cicle vital i metamorfosi de l'escarabat *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824) amb indicació (fletxa) de la càmera hipogea de la fase de pupació (Foto d'Art Cushman, USDA, a partir d'un dibuix de Mary F. Benson, Smithsonian Institution).

Fig. 2*. A) Oothecae production from the current* Dociostaurus maroccanus *(Thunberg, 1815) making the egg-laying (oviposition) in soil without removing (drawing from Jannone, 1934 in Meco* et al.*, 2008b) B) Life cycle and metamorphosis in the beetle* Leptinotarsa decemlineata *(Say, 1824) indicating (arrow) the underground pupation camera (Photo Art Cushman, USDA, from a drawing by Mary F. Benson, Smithsonian Institution).*

aquests cossos el·lipsoïdals podrien ésser motlles interns de rebliment d'estructures produïdes per insectes. Recentment, Meco *et al*. (2008a; 2008b; 2010) han descrit, a paleosòls pliocens i quaternaris de les Illes Canàries, la presència de concrecions calcàries similars que atribueixen a antigues ooteques d'acrídids (Fig. 4), mentre que Genise i Edwards (2003) consideren aquestes mateixes concrecions com a corresponents a cambres de pupació de coleòpters.

Les ooteques (del grec *óon* = 'ou' i *theke* = 'dipòsit') són dipòsits d'ous que formen diferents animals, principalment mol·luscs i insectes. Una ooteca conté molts d'ous generalment envoltats d'una coberta de protecció. Entre els grups d'insectes productors d'ooteques es troben els ortòpters i més concretament la família dels acrídids (llagosts o llagostes).

Les ooteques dels insectes acrídids són perforacions hipogees, generalment en forma de tub o saquet, excavades al terra per la femella en el moment de posta, en les que els ous són dipositats recoberts per una paret formada per partícules de terra aglomerada per les secrecions produïdes en el moment de la perforació del terra mitjançant l'oviscapte (Fig. 2A). Els tubs estan tancats pel seu extrem inferior, mentre que a l'extrem superior poden presentar un tap escumós i/o un opercle de terra per sobre, o simplement estar tancats per terra.

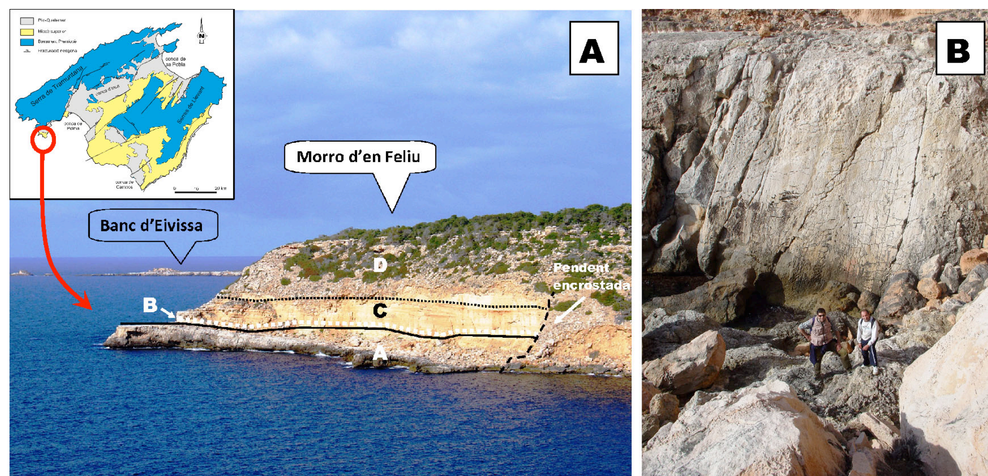


Fig. 3. Jaciment del Morro d'en Feliu, A) Ubicació en relació al mapa geològic de Mallorca; B) Espectacular pla de falla que afecta als materials miocens.
Fig. 3. *A) Location of the Morro d'en Feliu site in the geological map of Mallorca; B) Spectacular fault plane affecting the Miocene materials.*

L'estat de pupa (del llatí *pupa* = 'nina', 'pepa') és un dels estadis pels quals passen alguns insectes en el curs de la metamorfosi. L'estadi de pupa és un estat intermedi del cicle vital dels insectes i els porta de l'estat de larva al d'adult. El de pupa és un estadi de repòs, durant el qual l'insecte s'oculta o es tanca en una càpsula per protegir-se. Com que són molt vulnerables en aquest estat, algunes pupes passen aquest estat sota terra o en altres llocs protegits (Fig. 2B). Algunes pupes es troben dins d'un capoll o coberta protectora, que generalment té forma oval i està fabricat per la larva amb un fil que segrega abans d'assolir l'estat de pupa.

Els coleòpters presenten una metamorfosi completa, amb els estadis d'ou, larva, pupa i imago (adult). Les larves passen per diferents estadis separats per mudes. Les larves del darrer estadi cerquen un lloc apropiat per pupar. Algunes espècies construeixen capolls de materials diversos i/o cambres al mateix substrat on ha crescut la larva (per exemple, dins la terra).

Tant Meco *et al*. (2008a; 2008b; 2010) com Genise i Edwards (2003) plantegen l'aparició massiva d'aquestes traces fòssils (Fig. 4) com un indicador paleoclimàtic.

Jaciment. Enquadrament geogràfic i geològic

El promontori del Morro d´en Feliu consisteix en un sortint a la costa del terme municipal de Calvià (Mallorca, Illes Balears) a la península de cala Figuera entre Cala Rafeubetx i el Cap de Cala Figuera. Encara que la seva extensió és de prop de 18 ha, la zona objecte d'estudi correspon a la zona del penya-segat amb direcció S. Les coordenades UTM són: fus 31S, x: 457251, y: 4368336 (Datum European 1950).

La punta del Morro d'en Feliu està formada per un contrafort avançat i abrupte del penya-segat que coincideix amb una

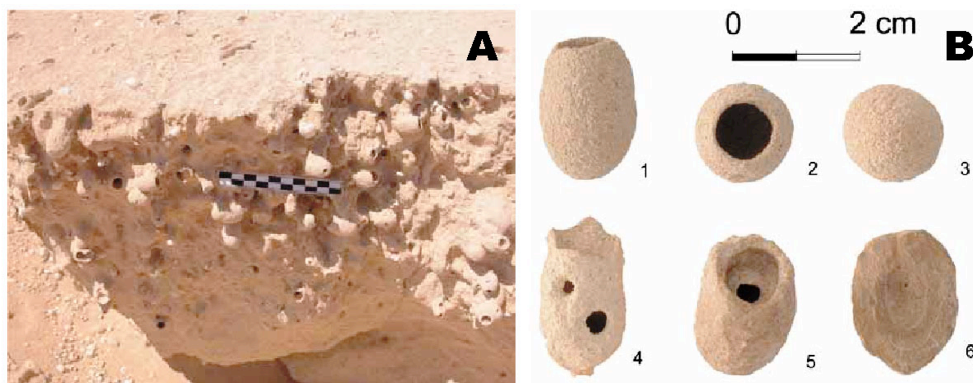


Fig. 4. Traces fòssils del Plistocè superior de Fuerteventura (Illes Canàries) descrites recentment *in* Meco *et al*. (2008b): a) Detall d'un paleosòl de Hueso del Caballo mostrant infinitat de traces remogudes i desplaçades; b) Detall de les estructures de les traces.

Fig. 4. *Fossil traces of the Pleistocene of Fuerteventura (Canary Islands) described recently in Meco* et al. *(2008b): a) Detail of the Hueso del Caballo site paleosol showing the removed and displaced countless fossil traces; b) Detail of the structure of fossil traces.*

espectacular falla normal d'edat miocènica fossilitzada pels sediments plio-quaternaris (Fig. 3B). D'aquesta falla NE-SW que posa en contacte les fàcies de talús (al N) amb les de front d'escull (al S) de la Unitat d'Esculls (Pomar *et al*., 1983) no s'ha pogut trobar cap tipus de literatura ni representació a cap mapa, per la qual cosa pareix ésser que el present treball és la primera referència a la mateixa.

Els afloraments apareixen en uns *blanquissars* verticals o subverticals que, de forma intermitent, interrompen els trams de pendent encrostada que forma els penyasegats d'aquesta zona.

Als afloraments del morro d'en Feliu, de base (nivell del mar) a sostre trobem (Fig. 3A):

9–10 m. Basament Miocè format per bretxes i calcàries de fàcies de talús, front d'escull i rere escull (*lagoon*) de la Unitat d'Esculls (Pomar *et al*., 1983) a les que localment es sobreposen Margues de la Bonanova (Pomar *et al*., 1983) i en alguns trams la Unitat de Margues i Guixos (Fornós i Pomar, 1983; Pomar *et al*., 1990). Messinià.

0,5–1 m. Dipòsits marins amb fauna càlida tipus equatorial: *Strombus coronatus* Defrance, 1827; *Patella ambrogii* Lecointre, 1952; *Saccostrea cucullata* (Born, 1780) i *Callista italica* (Defrance, 1815). Es situen de forma erosiva sobre la unitat anterior. Platja pliocena.

7 – 8 m. Arenes de platja passant a dunars amb intercalacions de paleosòls amb infinitat de traces d'insectes, gasteròpodes pulmonats i rizoconcrecions (hemicicle continental F; Butzer, 1975). El paleosòls superior presenta bretxificació i superfícies càrstiques amb colades estalagmítiques. Pliocè – Plistocè inferior.

Cicles dunars superiors (hemicicles continentals E i D; Butzer, 1975). Presenten alguns nivells de paleosòls amb traces d'insectes esporàdiques. Plistocè.

Els aflorament es troben parcialment coberts per un pendent encrostat d'uns 25º

d'inclinació format per cons d'enderrocs amb blocs i fragments dels nivells dunars i paleosòls fossilitzats per llims vermells. Aquesta crosta, atribuïda al penúltim interglacial Mindel – Riss (Rosselló i Cuerda, 1973), s'ha vist posteriorment erosionada en els trams de costa que coincideixen amb els afloraments. La mateixa crosta ha contribuït a preservar els afloraments que abans havia cobert.

Descripció de les estructures

Les traces estudiades estan formades per unes estructures calcàries de forma el·lipsoïdal o de saquet amb perfil d'U lleugerament dilatada (Fig. 5). Aquestes cambres o saquets estan tancats per un extrem mentre que l'extrem oposat poden presentar una obertura o també romandre tancats. La superfície exterior és d'aspecte grosser i mal definit, mentre que l'interior és llis. Les parets originals, formades per partícules de terra fina aglomerada, poden estar presents o bé haver desaparegut i haver-se substituït per una concreció calcària dipositada envoltant de la superfície interna (Figs. 5.3 i 5.5). La cambra interior és el·lipsoïdal i de secció transversal circular. Algunes cambres es conserven tancades amb l'espai vacus fossilitzat (Fig. 5.5).

Posteriorment la cambra interior d'aquests saquets es poden haver reblit de sediment formant un motlle intern macis, també de forma el·lipsoïdal, dins l'espai que ocupaven la pupa o paquet d'ous (Figs. 5.4 i 5.6). Alguns d'aquests motlles presenten com un collet o lleugera prominència que correspondria a la part del motlle intern de l'obertura de la cambra. Aquests motlles interns massissos són els que, donada la coincidència de forma amb els actuals excrements d'ovella o cabra, haurien portat a la confusió d'aquestes estructures amb possibles copròlits de *Myotragus* sp.

El motlle intern el·lipsoïdal sol tenir 10/12 mm d'amplària per 15/20 mm de llargària. El conjunt de l'estructura normalment arriba als 15/20 mm d'amplària per 25/30 mm de llargària, depenent de la gruixa de la concreció calcària assolida. La paret argilosa normalment fa 2-3 mm de gruixa.

Tafonomia

Aquestes acumulacions de traces no pareixen ésser el resultat d'un possible arrossegament ni transport, atesa l'absència de cambres fragmentades, trobant-se la pràctica totalitat de les mateixes íntegres. Es descarta també una acumulació deguda a la deflació eòlica ja que la acumulació de traces observada no es veu acompanyada per cap concentració paral·lela d'altres fòssils presents fàcils de transportar, com puguin ésser els gasteròpodes pulmonats o les rizoconcrecions.

L'elevada concentració de traces vendria explicada pel factor temps i estaria associada a la seva acumulació en cicles reproductors successius en els mateixos paleosòls que les contenen, així com a possibles eclosions explosives d'insectes adults. El fet d'ésser estructures hipogees enterrades en els paleosòls des del mateix moment de la seva formació, fa que també es pugui explicar millor la seva preservació i acumulació en aquests paleosòls.

Les acumulacions de càpsules apareixen normalment en paleosòls immadurs (sòls d'alteració incipients poc potents) inter-calats entre els nivells eòlic – dunars i normalment les trobem en els nivells inferiors de cada paleosòl afectant als nivells arenosos limítrofs amb la duna inferior fins a uns 5-10 cm de profunditat.

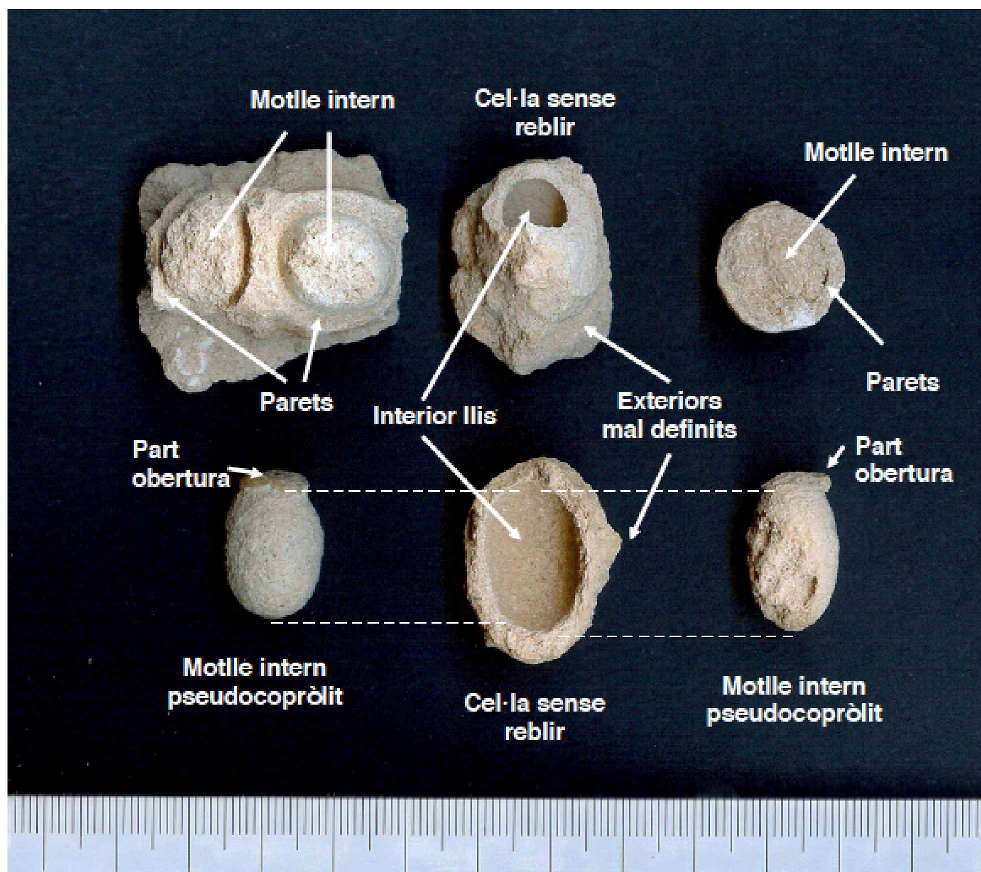


Fig. 5. Detall de les estructura de les traces fòssils del Morro d'en Feliu (Mallorca): 1) agrupació de dues estructures remogudes mostrant part del rebliment intern; 2) exemplar sense rebliment mostrant la part de l'obertura d'eclosió; 3) secció transversal d'una càmera mostrant el gruix de la paret i el posterior rebliment intern que forma de motlle intern el·lipsoïdal; 4) i 6) motlles interns el·lipsoïdals a vegades atribuïts erròniament a copròlits del bòvid *Myotragus* sp., on es pot distinguir la part corresponent a l'obertura d'eclosió superior; 5) secció longitudinal d'una càmera sense rebliment intern mostrant les parets i l'espai que ocupava originalment la pupa. A l'escala inferior les separacions majors corresponen a centímetres.

Fig. 5. *Details of the structure of fossil traces from Morro d'en Feliu (Mallorca): 1) pooling two structures showing part of the padding removed, 2) no filling specimen showing the opening burst, 3) section camera showing a cross-sectional wall thickness and padding back to form the inner ellipsoidal filling, 4) and 6) internal ellipsoidal fillings (sometimes erroneously attributed to the bovid Myotragus sp. coprolites) where you can distinguish the upper portion opening hatching and 5) a longitudinal section showing camera without padding the walls and the space originally occupied the pupa. The scale major separations correspond to centimetres.*

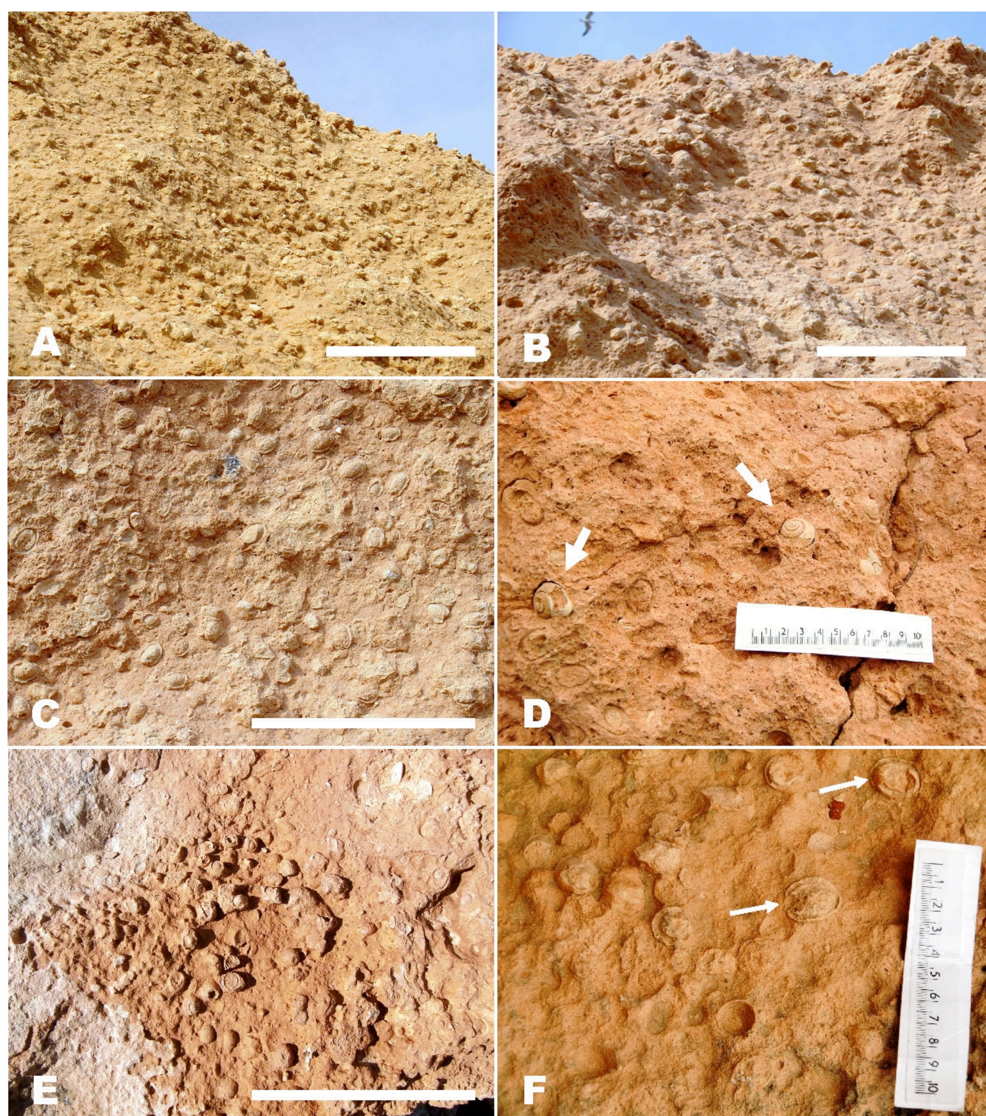


Fig. 6. Cambres fòssils del jaciment del Morro d'en Feliu (Mallorca): A), B) i C) Acumulacions d'infinitat de cambres sedimentades en paleosòls consolidats; D) cambres associades amb gasteròpodes pulmonats (*Iberellus* sp.); E) i F) detalls mostrant l'obertura d'eclosió (fletxes) d'algunes de les cambres. Escales A-B-C-E aproximadament 25 cm. Escales D-F en centímetres.

Fig. 6. *Fossil traces of the Morro d'en Feliu site (Mallorca): A) B) C) accumulations of countless chambers settled in the consolidated paleosoils; D) chambers associated with pulmonate gastropod (*Iberellus *sp.) E) and F) showing details of the opening burst (arrows) of some chambers. A-B-C-E scale bars are approximately 25 cm, D-F scales in centimetres.*

Les cambres que es conserven tancades amb l'espai vacus fossilitzat correspondrien a cambres no eclosionades degut a factors estressants (falta de condicions ambientals adients) o a un final traumàtic prematur que van fer que es conservessin tancades. A l'aflorament del Morro d'en Feliu, les traces poden assolir densitats de fins 1.000–1.500 exemplars per m^2 (Fig. 6). Les traces són més abundants als nivells bassals dels paleosòls, coincidint amb l'alteració dels nivells dunars on els insectes trobarien les condicions més adients per a la seva formació.

Fauna associada

L'aparició d'aquestes traces en els paleosòls es presenta associada a un conjunt de gasteròpodes pulmonats i rizoconcrecions. Els gasteròpodes que han pogut ésser determinats són:

Iberellus sp.
Rumina sp.
Tudorella ferruginea (Lamarck 1822)

Aquesta fauna de gasteròpodes associada coincideix exactament amb la del nivell Q6 del Banc d'Eivissa corresponent a un sòl d'alteració format a la base de l'hemicicle continental E (Butzer, 1975) i on també s'han trobat motlles interns de cambres d'insectes. Els motlles interns localitzats al cap Salines també es troben associats al gasteròpode *Rumina* sp. (B. Morey, com. pers.).

Discussió

Determinació diferencial i icnotaxonomia

Com ja s'ha apuntat a la introducció, a les Illes Balears, els motlles interns d'aquest cossos han estat atribuïts anteriorment a organismes enigmàtics o pèl·lets fecals, (Colom *et al*., 1968 i Cuerda *et al*., 1969) i més recentment a copròlits del bòvid *Myotragus* sp. (Rossell *et al*., 1969; Mercadal *et al*., 1970, 1972) o a possibles nius d'insectes himenòpters (J. Quintana, com. pers.).

Els copròlits de *Myotragus balearicus* Bate, 1909, preservats en acumulacions dins coves de Mallorca, es caracteritzen per ésser de talla més gran que els de cabra i ovella actuals (Encinas i Alcover, 1997), per a la qual cosa també sobrepassen la talla mitjana, i són de forma més irregular i variable, que els cossos el·lipsoïdals que formen el motlle intern dels cossos calcaris aquí estudiats.

També cal tenir en compte, que la composició dels motlles interns el·lipsoïdals és de la mateixa naturalesa que la del sediment extern de rebliment i que en ocasions es troben les concrecions buides o amb cristal·litzacions internes tipus drusa (espai vacus fossilitzat), cosa que fa que difícilment puguin correspondre a copròlits.

La falta de consistència dels excrements així com la seva ràpida descomposició davant els agents atmosfèrics també fan que difícilment poguessin fossilitzar en paleoambients exposats com els sòls o les dunes litorals.

A les Illes Canàries aquests cossos calcaris fòssils han estat atribuïts anteriorment a: i) *dünen-eier* ("ous de les dunes") o *cocoons* enigmàtics (capolls, crisàlides o pupes); ii) nius d'himenòpters dels gèneres *Anthophora* o *Eucera* o de la família dels icneumònids (Ichneumonidae); iii) icnotàxons (traces fòssils) corresponents a nius d'himenòpters (Celliformidae igen. indet.; *Celliforma* isp.; *Palmiraichnus* isp.) o a pupes de coleòpters (*Rebuffoichnus* isp.) (Meco *et al*., 2008a i bibliografia citada).

La interpretació d'aquets cossos calcaris com a concrecions calcàries sobre ooteques amb assignació taxonòmica a la família dels insectes acrídids, vendria avalada pels següents trets diferencials (Meco *et al.*, 2008a):

i) la quantitat i concentració en forma d'acumulacions d'infinitat d'exemplars en paleosòls extensos, fan que es necessiti una vertadera plaga per poder explicar aquestes quantitats;

ii) la falta de constància de plagues circummediterrànies d'himenòpters o de coleòpters, però si de plagues d'ortòpters acrídids (llagostes circummediterrànies);

iii) la pròpia estructura calcària de la paret d'aquests cossos, mostra que aquests no són obra d'insectes constructors sinó meres concrecions calcàries formades al voltant de la posta o paquet d'ous;

iv) el fet anterior ve reforçat per l'aparició conjunta d'aquests cossos calcaris quasi sempre associats amb rizoconcrecions, que també es formen pel mateix procés de concreció, però en aquest cas sobre les arrels de la vegetació;

v) la morfologia d'aquests cossos és semblant a la de les ooteques actuals d'algunes llagostes circummediterrànies o africanes (Orthoptera, Acrididae).

Els cossos calcaris estudiats podrien mostrar certa afinitat amb les ooteques d'alguns Cyrtacanthacridinae i Gomphocerinae (Orthoptera, Acrididae) entre els quals figuren els actuals *Kraussaria angulifera* (Krauss, 1877) i *Kraussella amabile* (Krauss, 1877) ambdues del Sahel africà (vegeu Popov *et al.*, 1990) i *Dociostaurus maroccanus* (Thumberg 1815) de la veïna costa nord-africana (vegeu Latchininsky i Launois-Luong, 1992), però existeixen certes característiques morfològiques que no acaben d'encaixar amb les estructures ara estudiades, segons es veurà més endavant.

Per tant, a partir d'aquesta visió (Meco *et al.*, 2008a; 2010), la naturalesa d'aquests cossos es revelaria com a motlles interns de rebliment i concrecions calcàries al voltant d'ooteques d'ancestres afins a les actuals llagostes africanes.

Per altra part, Genise i Edwards (2003) consideren les estructures fòssils de Canàries com a corresponents en part a nius d'himenòpters (*Palmiraichnus* isp. o Celliformidae igen. indet.) i en part a cambres de pupació de coleòpters (*Rebuffoichnus* isp.). Les traces de Mallorca ara estudiades són del tot similars a les de Canàries atribuïdes a *Rebuffoichnus* isp.

L'icnogènere *Rebuffoichnus* Roselli, 1989 es caracteritza per una estructura sub-el·lipsoïdal a sub-cilíndrica formada per una paret, d'aspecte exterior grosser i mal definit, mentre que l'interior és llis o pot presentar un lleu bioglif. La cambra interna és el·lipsoïdal / ovoide amb una secció transversal de forma circular. La paret pot estar perforada per un forat d'emergència rodo (Genise *et al.*, 2002; Genise, 2004). Algunes de les formes de l'aflorament des Morro d'en Feliu que no presenten paret definida podrien pertànyer a l'icnogènere *Fictovichnus* Johnston *et al.*, 1996; en aquest darrer cas la cambra el·lipsoïdal queda envoltada per una zona més llimosa que gradualment es va confonent amb el sediment matriu sense arribar a formar una autèntica paret (Genise, 2004). En general tant *Rebuffoichnus* com *Fictovichnus* han estat atribuïts a cambres de pupació de coleòpters, probablement de les famílies Curculionidae, Tenebrionidae o Scarabaeidae (Johnston *et al.*, 1996).

Genise (com. pers.) descarta la possibilitat de que aquestes estructures puguin correspondre a ooteques d'insectes acrídids, tenint en compte que un acrídid difícilment pot amb el seu ovipositor i des de l'exterior allisar tot l'interior de l'ooteca sense deixar

ni tan sols una marca o cicatriu. Les cambres de Mallorca presenten una superfície interna totalment llisa i no hi ha cap insecte que pugui allisar completament una cambra des de fora. Quan la cambra és totalment llisa internament s'ha d'interpretar com a indicació que aquesta esta construïda des de dins. Aquesta simple raó entomològica és la que fa impossible que siguin ooteques de cap insecte. Per altra part, en el cas dels himenòpters, encara que les cel·les estiguin entapissades i llises per dins sempre queda un opercle que tanca el forat des d'on l'adult la treballa des de fora. Llavors, a l'estar fetes des de dins, l'estructura ens indica que s'ha de tractar de cambres pupals. Aquesta assumpció també ve reforçada per fet que es trobessin les restes fòssils d'un escarabat curculiònid constructor dintre d'una cambra pupària atribuïda a *Rebuffoichnus* d'Austràlia (Lea, 1925).

La geometria d'aquests cossos, formant la cambra interior una el·lipsoide quasi perfecta, seria un altre tret que descartaria als acrídids com a productors. La forma geomètrica de les cambres és una el·lipsoide quasi perfecta (en ambdós eixos de simetria) en pràcticament tots els exemplars, cosa que fa molt difícil que puguin ésser simples deposicions de paquets d'ous que sempre serien més irregulars a l'haver d'adaptar-se a la forma del tub de l'ooteca i/o als possibles defectes del sediment circumdant. Una altra circumstància significativa que dificulta la seva atribució a insectes acrídids seria el fet que no s'hagi pogut trobar cap resta del "tub" que allotja la part escumosa tap de les ooteques.

La disposició horitzontal a sub-horitzontal, que presenten la majoria de les cambres, també faria que es puguin assimilar més a cambres de pupació hipogees, construïdes per la larva en la seva posició natural abans de pupar, que a ooteques d'acrídids, en les que normalment la posta presenta una disposició vertical a sub-vertical de producció dins del sòl.

D'altra banda, en relació als hàbitats i etologia de coleòpters actuals de les Illes Balears, s'han pogut constatar una alta freqüència i diversitat de coleòpters tenebriònids psammòfils (arenícoles) a les dunes de litorals de Mallorca (Illes Balears), la qual cosa que també concordaria amb la freqüència d'aquests insectes sobre els sistemes dunars fòssils.

Un cas a tenir especialment en compte és el del l'escarabat *Elaphocera capdeboui* Schaufuss, 1882 (Scarabaeoidea, Melolonthidae), un endemisme gimnèsic comú a zones obertes on les seves larves viuen enterrades i s'alimenten d'arrels i bulbs de diferents vegetals. Presenta l'interessant fenomen característic d'una eclosió explosiva coincidint amb les primeres pluges de tardor (principalment durant el més d'octubre i novembre) desapareixent tot d'una que s'atura de ploure (Palmer i Petitpierre, 1993).

Així dons, les darreres dades i interpretacions ens farien bascular la balança més cap una atribució de les traces a cambres de pupació d'insectes coleòpters probablement de les famílies Curculionidae, Tenebrionidae o Scarabaeidae (segons Johnston *et al*., 1996). L'insecte productor podria trobar-se actualment extingit a les illes Balears.

Implicacions paleoambientals i paleo-ecològiques

A les Illes Canàries, les acumulacions d'aquestes estructures apareixen per primera vegada al Pliocè als 3 Ma i reapa-reixen més tard en vàries ocasions al Plistocè inferior (circa 1,74 Ma), al Plistocè mitjà tardà (circa 0,42 Ma), a l'inici del Pleistocè superior i a l'inici de l'Holocè

(Meco *et al.*, 2008). Els paleosòls del Quaternari tardà (darrers 450 ka) de les Illes Canàries, coincideixen amb els principals pics càlids (MIS 11.3, 9.3, 7.1, 5.5 i 1) dins del patró cíclic de paleotemperatures del clima del Quaternari tardà (EPICA, 2004), el que ha fet que es plantegi la seva aparició massiva com un indicador paleoclimàtic dels períodes més càlids i humits (Meco *et al.*, 2010).

A les Illes Canàries les traces fòssils també apareixen en paleosòls sobre dunes, coincidint amb aportament argilós del vent de l'Est carregat de pols sahariana (Meco *et al.*, 2008b, 2010).

La consistència arenosa de les paleodunes no basta per suportar aquestes cambres, però l'alteració de la superfície dunar deguda a períodes humits amb pluges abundants i possible aportació de pols sahariana farien que el sòls es tornessin adients per acollir aquestes estructures. Les circumstàncies favorables de temperatura, humitat i sòl en condicions, encara que estacionals, poden produir una extraordinària activitat reproductiva així com innumerables eclosions. Llavors entrarien en fase recessiva, durant els episodis de sequera. Aquests insectes presentarien, per tant, força adaptació especialitzada a climes àrids amb pauses humides en regions, amb temperatures càlides a moderades, on hi ha estacionalitat anual atenuada com la circummediterrània.

La presència de la pols eòlica procedent del nord d'Àfrica en forma de pluges de fang i deposicions seques, és també un fenomen comú a les Illes Balears. La localització de les Illes Balears només a uns 300 quilòmetres del continent Africà i la seva situació coincidint amb les trajectòries de les tempestes (depressions atmosfèriques) que porten la pols sahariana, faciliten el transport i la caiguda d'aquesta pols procedent del desert del Sàhara. Fornós *et al.* (1997; 2004) indiquen la gran importància, que té actualment, l'aportació de pols africana en la formació dels dipòsits dels sòls de les Illes Balears, quantificant la seva deposició en un volum de 13,5 g/m^2 de mitjana anual.

Atesa la quantitat i concentració de cambres fòssils trobades, no es descarta l'existència d'arribades de plagues o eixams d'insectes des del nord d'Àfrica, que trobarien, en els paleosòls incipients de la superfície alterada de les dunes balears, les condicions adients de temperatura, humitat i sòl, per a la seva reproducció.

Per altra part, Genise i Edwards (2003) consideren que les denses acumulacions de *Rebuffoichnus* isp. es desenvoluparen sota un clima estacional sub-humit a semiàrid, per a la qual cosa correspondrien també a períodes de precipitacions relativament copioses en un paleoclima semiàrid generalitzat.

Així dons, tant en el cas de possibles ooteques d'acrídids com en el cas de cambres de pupació de coleòpters, el seu significat paleoclimàtic pareix clar, coincidint amb la seva posició en paleosòls intercalats en les arenes dunars: detecten períodes humits en un règim àrid o semiàrid. Llavors, les concentracions als paleosòls representarien el testimoni d'episodis humits estacionals.

Cronostratigrafia

A l'aflorament pròxim del banc d'Eivissa, els mateixos nivells de platja (nivell b) i primer sistema dunar amb paleosòls (nivell c o hemicicle F) han estat datats dins del període de polaritat inversa Matuyama (González-Hernández *et al.*, 2000). Aquesta datació paleomagnètica només aclareix que es tracta d'una polaritat inversa que aquests autors atribueixen al Matuyama (2,59–0,78 Ma) per mor de la fauna citada fins aleshores per Rosselló i

Cuerda (1973). Cal tenir en compte que l'estadi Gelasià (2,5–1,8 Ma), abans situat com estadi final del Pliocè, ha estat recentment inclòs dins del Quaternari a la base del Plistocè (resolució IUGS–ICS, June 30, 2009). Així actualment tot el Matuyama es troba inclòs dins del Plistocè inferior.

Atesa la nova fauna trobada en aquests nivells, tant a l'aflorament del banc d'Eivissa com al del Morro d'en Feliu, no es pot descartar que els nivells marins realment corresponguin a un període de polaritat inversa més antic (Pliocè). Segons la classificació d'unitats faunístiques (MPMUs) de Monegatti i Raffi (2001), el gran bivalve *Callista italica* (Defrance, 1815), força abundant en els nivell de platja (nivell b), no passaria de la MPMU1 (= 5,3 – 3,0 Ma). Així, si trobem aquesta fauna càlida (nivell b) més antiga, llavors podríem estar davant d'algun subestadi de polaritat inversa dins del Gauss, com el Kaena (3,11–3,04 Ma) o el Mammoth (3,33–3,22 Ma), o inclòs davant d'un Gilbert (5,32–3,58 Ma) també de polaritat inversa.

Si tenim en compte que (i) els dipòsits marins de base (nivell b) contenen fauna antiga que delata un clima molt càlid i estable tipus equatorial (amb *S. coronatus*, *C. italica*, *S. cucullata*, *P. ambrogii*); i que (ii) a aquests dipòsits marins càlids segueix immediatament una duna amb intercalacions de varis paleosòls amb presència d'infinitat de cambres de pupació i rizoconcrecions que ens indican clarament l'establiment d'un nou clima àrid o semiàrid estacional amb importants pauses humides; llavors podríem estar davant d'una manifestació de l'episodi que va donar lloc al canvi global que inicià una estacionalitat notable, en la que els hiverns es van fer més freds i els estius més càlids, i que va coincidir amb l'inici de la instal·lació dels primers gels àrtics a l'hemisferi nord (2,7–2,9 Ma) (Haug *et al.*, 2005).

Agraïments

Al Dr. Josep Quintana Cardona (Ciutadella, Menorca) per la determinació taxonòmica dels gasteròpodes pulmonats i les indicacions diferencials sobre possibles copròlits de *Myotragus* sp. de Menorca. Als Drs. Jorge F. Genise (*Museo Argentino de Ciencias Naturales*) i Jordi Mª de Gibert Atienza (Universitat de Barcelona) per la informació i documentació aportada sobre icnologia dels paleosòls. Al Dr. Joaquín Meco Cabrera (*Universidad de las Palmas de Gran Canaria*) per les informacions i documentació sobre traces fòssils de les Illes Canàries. Als Drs. Eduard Petitpierre Valls i Guillem X. Pons Buades de la Universitat de les Illes Balears, per aportar la seva visió des del vesant entomològic. Al Dr. Pere Bover (IMEDEA) per a les indicacions sobre possibles copròlits de *Myotragus* sp. de Mallorca. També volem agrair a Bernat Morey Colomar (Sta. Eugènia) l'acompanyament en la recerca de camp així com totes les dades inèdites proporcionades.

Bibliografia

Butzer, K.W. 1975. Pleistocene littoral sedimentary cycles of the Mediterranean Bassin: A Mallorquin view. *In*: Butzer, K.W. i Isaac, G. (eds.): After the Australopithecines, pp 25-71. The Hague.

Colom, G., Sacarés, J. i Cuerda, J. 1968. Las formaciones marinas y dunares pliocénicas de la región de Llucmajor (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 14: 46-61.

Cuerda, J. i Sacarés, J. 1992. *El Quaternari al Migjorn de Mallorca*. Direcció General de Cultura. Govern Balear. 304 pp. Palma.

Cuerda, J., Sacarés, J. i Colom, G. 1969. Hallazgo de terrenos pliocenos, marinos, en la región de Llucmayor (Mallorca). *Acta Geol. Hisp.*, 4(2): 35-37.

Encinas, J.A. i Alcover, J.A. 1997. El jaciment fossilífer de la cova Estreta (Pollença, Mallorca). *Endins*, 21: 83-92.

EPICA community members. 2004. Eight glacial cicles from an Antarctic ice core. *Nature* 429, 623-628.

Fornós, J.J. i Pomar, L. 1983. Mioceno superior de Mallorca: Unidad calizas de Santanyí ("Complejo terminal"). *In*: Pomar, L.; Obrador, J.; Fornós, J. i Rodríguez-Perea, A. (eds.). *El Terciario de las Baleares (Mallorca - Menorca). Guía de las excursiones. X Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 1983*. Grupo Español de Sedimentología. pp 177-206. Palma de Mallorca.

Fornós, J.J., Crespí, D. i Fiol, Ll.A. 1997. Aspectes mineralògics i texturals de la pols procedent de les pluges de fang a les Illes Balears: la seva importància en alguns processos geològics recents. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 40: 113-122.

Fornós, J.J., Fiol, Ll.A. i Guijarro, J.A. 2004. Episodis significatius de pluges de fang ocorregudes els mesos de febrer i març de 2004 a Mallorca (Mediterrània occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 47: 43-50.

Genise, J.F. 2004. Ichnotaxonomy and ichnostratigraphy of chambered trace fossils in palaeosols attributed to coleopterans, termites and ants. *In*: McIlroy, D. (Ed.). *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society, London, Special Publication, 228: 419-453.

Genise, J.F. i Edwards, N. 2003. Ichnotaxonomy, Origin and Palaeo-environment of Quaternary Insect Cells from Fuerteventura, Canary Islands, Spain. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 76 (2): 320-327.

Genise, J.F., Sciutto, J.C., Laza, J.H., González, M.G. i Bellosi, E. 2002. Fossil bee nests, coleopteran pupal chambers and tuffaceous paleosols from the Late Cretaceous Laguna Palacios Formation, Central Patagonia (Argentina). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 177: 215-235.

González-Hernández, F.M., Mörner, N.A., Goy, J.L., Zazo, C. i Silva, P.G. 2000. Resultados paleomagnéticos de los depósitos plio-pleistocenos de la cuenca de Palma (Mallorca, España). *Estudios Geol.*, 56: 163-173.

Haug, G.H., Ganopolski, A., Sigman, D.M., Rosell-Melé, A., Swann, G.E.A., Tiedemann, R., Jaccard, S., Bollmann, J., Maslin, M.A., Leng, M.J. i Eglinton, G. 2005. North Pacific seasonality and the glaciation of North America: 2.7 million years ago. *Nature,* 433: 821-825.

IUGS-ICS. 2009. Ratification of the definition of the base of Quaternary System/Period (and top of the Neogene System/Period), and redefinition of the base of the Pleistocene Series/Epoch (and top of the Pliocene Series/Epoch). London, June 30, 2009. http://www.stratigraphy.org/view.php?id=23

Jannone, G. 1934. Osservazioni ecologiche e biologische sul *Dociostaurus maroccanus* Thunb., *Calliptamus italicus* L. e loro parassiti in Provincia di Napoli (Primo Contributo). *Bollettino del Laboratorio di Zoologia Generale e Agraria della R. Istituto Superiore d'agricoltora*, 28: 75-151.

Johnston, P.A., Eberth, D.A. i Anderson, P.K. 1996. Alleged vertebrate eggs from Upper Cretaceous redbeds, Gobi Desert, are fossil insect (Coleoptera) pupal chambers: Fictovichnus new ichnogenus. *Canadian Journal of Earth Sciences,* 33: 511-525.

Latchininsky, A.V. i Launois-Luong, M.H. 1992. *Le Criquet marocain, Dociostaurus maroccanus (Thunberg, 1815), dans la partie orientale de son aire de distributi*on. CIRAD-PRIFAS, Montpellier, France, 192 pp. Disponible a: http://ispi-lit.cirad.fr/index/60995.htm

Lea, A.M. 1925. Notes on some calcareous insecto puparia. *Records of the South Australian Museum*, 3: 35-36.

Meco, J., Ballester, J., Betancort, J.F., Scaillet, S., Guillou, H., Lomoschitz, A., Carracedo, J.C., Petit-Maire, N., Cilleros, A., Medina, P., Soler-Onís, E. i Meco J.M. 2005.

Paleoclimatología del Neógeno en las Islas Canarias. Mioceno y Plioceno. Ministerio de Medio Ambiente – Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Servicio de Publicaciones de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria.

Meco, J., Carracedo, J.C., Betancort, J. i Ballester, J. 2008a. 04 Clima frente a tectónica. *In*: Meco, J. (ed.): *Historia geológica del clima en Canarias*; pp. 141-151. Las Palmas de Gran Canaria. http://siglosxx.com/clima-y-geologia-de-canarias/libro-de-geologia-y-clima-de-las-islas-canarias.pdf

Meco, J., Petit-Maire, N., Lomoschitz, A., Fontugne, M, Ramos, A.J.G., Carracedo, J.C., Betancort, J., Ballester, J. i Perera, J. 2008b. 05 Evolución eólica. *In*: Meco, J. (ed.): *Historia geológica del clima en Canarias*; pp 153-185. Las Palmas de Gran Canaria. http://siglosxx.com/clima-y-geologia-de-canarias/libro-de-geologia-y-clima-de-las-islas-canarias.pdf

Meco, J., Petit-Maire, N., Ballester, J. Betancort, J.F. i Ramos, A.J.G. 2010. The Acridian plagues, a new Holocene and Pleistocene paleoclimàtic indicator. *Global and Planetary Change* (en premsa).

Mercadal, B., Villalta, J.F., Obrador, A. i Rosell, J. 1970. Nueva aportación al conocimiento del Cuaternario menorquín. *Acta Geol. Hisp*., 5 (4): 89-93.

Mercadal, B., Obrador, A. i Rosell, J. 1972. Fauna malacológica del Cuaternario marino de la isla del Aire (Menorca). *Acta Geol. Hisp*., 7 (6): 178-179.

Monegatti, P. i Raffi, S. 2001. Taxonomic diversity and stratigraphic distribution of Mediterranean Pliocene bivalves. *Palaeo*, 165: 171-193.

Palmer, M. i Petitpierre, E. 1993. Els coleòpters de Cabrera: llista preliminar i perspectives d'estudi. *In*: Alcover, J.A., Ballesteros, E. i Fornós, J.J. (Eds.): *Història Natural de l'Arxipèlag de Cabrera*. CSIC - Ed. Moll. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 2: 383-407.

Pomar, L., Marzo, M. i Barón, A. 1983. El Terciario de Mallorca. *In*: Pomar, L., Obrador, J., Fornós, J. i Rodríguez-Perea, A. (eds.). *El Terciario de las Baleares (Mallorca - Menorca)*. Grupo Español de Sedimentología. pp 21-44.

Pomar, L., Rodríguez-Perea, A., Sàbat, F. i Fornós, J.J. 1990. Neogene stratigraphy of Mallorca island. *In:* Iberian Neogene Basins (IXth Congress R.C.M.N.S.0). Paleontologia i Evolució, Mem. Esp., 2: 269-320.

Popov, G.B., Launois-Luong, M.H. i Van Der Weel, J. 1990. *Les oothèques des criquets du Sahel*. PRIFAS. Acridologie Opérationnelle Ecoforce® Internationale. Département GERDAT. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD). Collection Acridologie Opérationnelle, 7. Imprimerie Déhan. Montpellier. 93 pp. Disponible a: http://locust.cirad.fr/ouvrages_pratiques/pdf/DFPV7.pdf

Rosell, J., Obrador, A. i Mercadal, B. 1969. Estudio sedimentológico i estratigràfico de la isla del Aire (Menorca). *Bol. Geol. Min. Esp*., 80 (6): 538-544.

Rosselló, V.M. i Cuerda, J. 1973. Notas sobre el Plioceno i Cuaternario del Banc d'Eivissa (Mallorca). *Cuadernos de Geografía*, 13: 5-13. Univ. de València.